

信息与通信技术

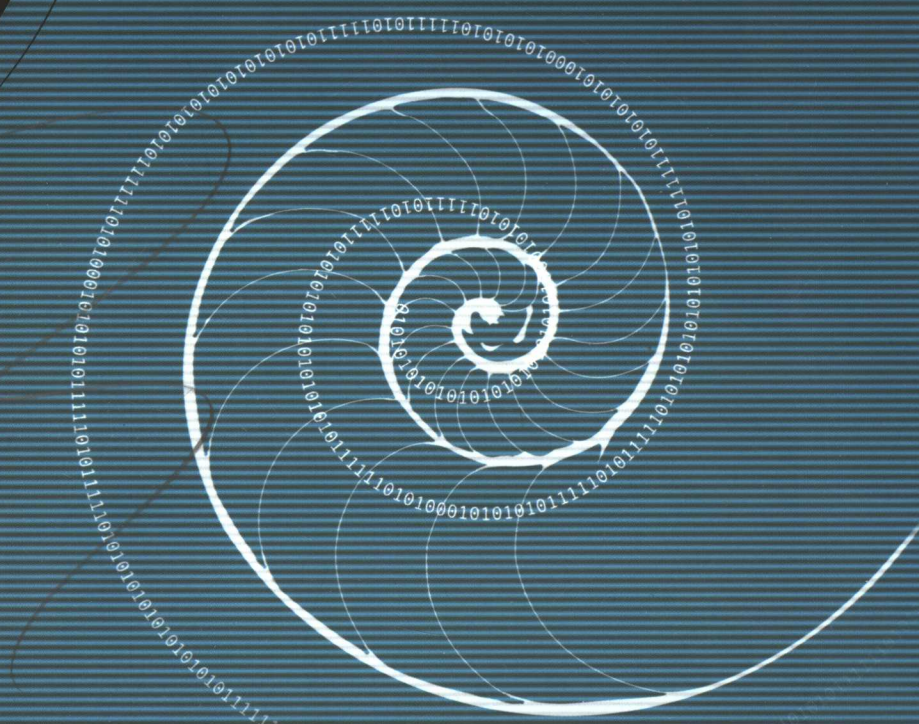


信息系统与安全对抗理论

国防科工委「十五」规划教材

信息系统与安全对抗理论

●王越 罗森林 著



北京理工大学出版社

北京航空航天大学出版社 西北工业大学出版社

哈尔滨工业大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

TP309

学出版社



国防科工委“十五”规划教材·信息与通信技术

信息系统与安全对抗理论

王 越 罗森林 著

北京理工大学出版社

北京航空航天大学出版社 西北工业大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

内容简介

本书全面研究和论述了信息系统安全对抗的相关理论,主要包括:现代系统理论是基本内容;信息及信息系统;信息安全与对抗的系统概述;信息安全与对抗的基本原理;信息安全与对抗的原理与技术性方法;信息安全与对抗攻击的应用实例等。本书可作为从事信息安全、信息对抗技术、通信与信息系统及相关方面教学、科研、应用人员阅读和使用,对从事信息安全相关研究的人员具有重要的实用和参考价值。此外,本书也可供其他专业及研究人员参考使用,具有重要的指导意义。

图书在版编目(CIP)数据

信息系统与安全对抗理论/王越,罗森林著. —北京:
北京理工大学出版社, 2006. 1

国防科工委“十五”规划教材. 信息与通信技术

ISBN 7-5640-0472-X

I. 信… II. ①王…②罗… III. 信息系统-安全技术-高等学校-教材 IV. TP309

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 066940 号

信息系统与安全对抗理论

王 越 罗森林 著

责任编辑 董双洪

责任校对 郑兴玉

北京理工大学出版社出版发行

北京市海淀区中关村南大街 5 号(100081)

电话:010-68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

<http://www.bitpress.com.cn>

E-mail:chiefeditor@bitpress.com.cn

北京圣瑞伦印刷厂印制 各地新华书店经销

开本:787×960 1/16

印张:14.5 字数:290 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

印数:3000 册.

ISBN 7-5640-0472-X 定价:25.00 元

国防科工委“十五”规划教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主 任：张华祝

副主任：王泽山 陈懋章 屠森林

编 委：王 祁	王文生	王泽山	田 蔚	史仪凯
乔少杰	仲顺安	张华祝	张近乐	张耀春
杨志宏	肖锦清	苏秀华	辛玖林	陈光禩
陈国平	陈懋章	庞思勤	武博祯	金鸿章
贺安之	夏人伟	徐德民	聂 宏	贾宝山
郭黎利	屠森林	崔锐捷	黄文良	葛小春



总 序

国防科技工业是国家战略性产业,是国防现代化的重要工业和技术基础,也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来,在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下,国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中,取得了举世瞩目的辉煌成就。研制、生产了大量武器装备,满足了我军由单一陆军,发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其他技术兵种在内的合成军队的需要,特别是在尖端技术方面,成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术,使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备,使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路,建立了专业门类基本齐全,科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系,奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础;掌握了大量新技术、新工艺,研制了许多新设备、新材料,以“两弹一星”、“神舟”号载人航天为代表的国防尖端技术,大大提高了国家的科技水平和竞争力,使中国在世界高科技领域占有了一席之地。十一届三中全会以来,伴随着改革开放的伟大实践,国防科技工业适时地实行战略转移,大量军工技术转向民用,为发展国民经济作出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业,国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。50多年来,国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍,他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神,勇挑重担,敢于攻关,为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动,成为推动我国科技进步的重要力量。面向新世纪的机遇与挑战,高等院校在培养国防科技人才,生产和传播国防科技新知识、新思想,攻克国防基础科研和高技术研究难题当中,具有不可替代的作用。国防科工委高度重视,积极探索,锐意改革,大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具,但受种种客观因素的影响,现有的教材与专著整体上已落后于当

今国防科技的发展水平,不适应国防现代化的形势要求,对国防科技高层次人才的培养造成了相当不利的影响。为尽快改变这种状况,建立起质量上乘、品种齐全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系,国防科工委全额资助编写、出版 200 种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量,在广泛动员全国相关专业领域的专家学者竞投编著工作的基础上,以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的 100 多位专家、学者,对经各单位精选的近 550 种教材和专著进行了严格的评审,评选出近 200 种教材和学术专著,覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与工程、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者,他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、华北工学院、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等,具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中,国防特色专业重点教材和专著的出版,将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出,进入 21 世纪,我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标,对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展,提升国防实力,需要造就宏大的人才队伍,而教育是奠基的柱石。全面振兴国防科技工业必须始终把发展作为第一要务,落实科教兴国和人才强国战略,推动国防科技工业走新型工业化道路,加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华,实现志向,提供了缤纷的舞台,希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识,树立正确的世界观、人生观、价值观,努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任,创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好,国防科技工业的明天将再创辉煌。

张华祝



前言

本书作为一本用于研究生教学,删节一些较深内容后也适用于本科生的兼用教材,有三个基本问题应作为“前提”和基础加以优先考虑。

第一个问题,即本教材性质的定位问题,定位于学生“培养类”还是“训练类”。培养类教材应具有相当于国际上大学的核心课内容。科学技术领域的核心课,主要是培养学生进行科学思维,树立运动发展观,获得掌握知识及解决问题的能力。训练类课程则是具体传授知识,为学生求职作准备,这类课讲究实用,以信息领域计算机应用技术课最为典型。针对重点学校的电子工程系信息安全与对抗专业方向的基础性核心课,课程的类别性质应该定位在“培养类”上,同时兼顾学生适应广泛信息领域工作时所需的基本概念和基本规律方面的内容。

第二个重要前提问题,即课程内涵如何确定?在如此广泛的信息安全领域如何培养学生?若按惯例做法,即由各种现有技术方法入手分门别类分析具体技术原理、性能和优缺点等,由此引导学生悟出深层次的“道”以达到培养能力和掌握基本概念、规律,从而提高解决问题的能力为目的,则一方面会使得课程内容繁杂,不易理出脉络;另一方面也容易发生“只见树木不见森林”的现象而疏漏了重要的系统概念和规律。信息安全和对抗,实质上是系统性问题,遵守“全量大于诸分量之和”定理,分别研究分项技术,然后简单求和,这并不能代表整体,也很难“整合”成整体。因此本书的组成,首先要确立内容安排的思路及内容的框架,这样就解决了本书的第二个重要问题。经过较细致的研究现形成三点主要思想:(1)概念和原理采用“由顶层至下层”展开,然后用例子进行反馈。(2)内容由“普适”开始逐渐往“专门”展开,以做到“普适”与“专门”相结合。(3)作为信息领域理工科学生的信息安全与对抗专业基础课教材,要突出安全与对抗领域的基本概念、基本原理及基本方法,鼓励学生深入思考,灵活应用。

本书的主要内容框架为:

1. 介绍、讨论“系统”概念及系统理论要点。
2. 介绍、讨论“信息”、“信息系统”及其发展要点的相关概念。
3. 信息安全基本概念“问题”的动态发展概论、安全对抗过程的要点及加强支持信息安全对抗发展的要点。



4. 信息安全领域主要原理。
5. 强化信息安全发展的基本科技方法。
6. 综合举例。

在第二个问题的基础上产生了第三个问题,也就是第二个问题中的一些思路、框架如何具体化问题,也是特点的形成问题。现主要有:

将系统理论的基本观点和原理融入内容中,用以分析研究问题。信息安全和对抗问题实质上是复杂的系统问题。各种信息系统又包括子系统,系统又融入更大的系统作为子系统(如移动通信系统是通信系统的子系统,而个人手机是移动通信系统的子系统……)。如果不就系统的功能、结构、环境间多层次、多剖面复杂动态的相互关系作为基本概念,研究分析信息安全和对抗问题,则无法贯彻上述思想。在学科方面除自然科学外,还涉及人文和社会科学的交叉交融,作为理工科学生的专业基础课教材,这方面内容本书只能“点到而已”。此外现代社会的各种活动从法治观点看,都应纳入法律框架中,本教材中专有一节叙述信息安全与对抗的法律问题,以构成较完整的概念。

贯彻矛盾对立统一运动发展演化的原理,将其融入本教材中进行分析、综合,从而引导建立信息安全和对抗领域普遍性的原理和方法。内容上着重系统功能、结构、环境间多层次多剖面的关系所蕴涵的本质矛盾,及其在现实条件约束下形成对立统一动态演化的“正”“反”问题。研究“正”“反”问题,是其中重要内容之一,安全与攻击的对抗问题就是一类正反斗争。矛盾是永远存在的,它是在一定现实条件约束下以对立面不断转化主要位置的演化过程而“存在”的,在此基础上研究“正”“反”问题的结果都是动态相对的,也包括了一切技术和理论的新突破所带来的优势。由于在发展进程中是有时间性及相对性的,因此不断发展才是硬道理。

列举一些信息安全和对抗领域典型信息系统攻击与反攻击的对抗案例,以加深对基本原理和方法的理解,起到“举一反三”的作用,并为其他课程,如信息系统安全与对抗技术等进行引路和打基础。结合本课程还设置了信息系统安全与对抗技术基础实验课,并提供学生一个具有一定伸缩性的基础实验平台,以便互相支持,提高学习效果。

本教材的编写思路和内容框架虽已明确,但涉及内容非常广泛,学科间相互交叉,互融关系复杂,外加变更了教科书的惯常思路又无经验,书中定还存在不足之处,在努力尝试之际,望各位专家多多指教,广大读者多提宝贵意见!

王 越

2003年2月

目 录

第 1 章 现代系统理论的基本内容	1
1.1 引言——通向“系统”的浅显引导	1
1.2 系统的定义及其要点解释	3
1.3 系统理论体系初论	7
1.4 系统理论通常涉及的对立统一范畴	17
1.5 系统理论暂立的公理体系	21
1.6 综合举例——GSM 第二代移动通信系统	26
1.7 本章小结	29
第 2 章 信息及信息系统	30
2.1 引言	30
2.2 信息	30
2.3 信息系统	36
2.4 信息科技与信息系统的发 展是人类永恒的主题之一	70
2.5 信息科技与信息系统发展的多种庞大支持体系	71
2.6 几种典型信息系统举例及其要点说明	72
2.7 本章小结	75
第 3 章 信息安全与对抗系统概述	76
3.1 引言	76
3.2 信息及信息系统安全与对抗问题的基本描述	77
3.3 信息安全问题产生的根源	79
3.4 信息安全对抗中 对立双方对抗要点	82
3.5 法律领域加强信息安全问题的措施	90
3.6 本章小结	101
第 4 章 信息安全与对抗基本原理	102
4.1 引言	102
4.2 信息安全与对抗领域自组织耗散理论基础	102
4.3 基础层次对抗原理	104
4.4 系统层次对抗原理	113
4.5 “共道”——“逆道”对抗机理博弈模型	117
4.6 本章小结	136
第 5 章 信息安全与对抗原理性方法	138



5.1 引言	138
5.2 信息系统性能指标及安全对抗性能占位分析	139
5.3 信息系统安全对抗问题有关的“关系”表征	145
5.4 系统层安全对抗方法概论	152
5.5 信息系统安全与对抗技术性方法	158
5.6 信息安全与对抗原理性方法综合利用举例	174
5.7 本章小结	179
第6章 信息安全与对抗应用举例	181
6.1 引言	181
6.2 高安全性能通信系统的安全与对抗问题	181
6.3 广播电视系统的安全对抗问题	184
6.4 雷达系统的安全与对抗问题	186
6.5 计算机网络的安全与对抗问题	189
6.6 本章小结	200
附录	201
附录1 《中华人民共和国刑法》节选	201
附录2 全国人民代表大会常务委员会关于维护互联网安全的决定	202
附录3 计算机信息网络国际联网安全保护管理办法	204
附录4 《互联网信息服务管理办法》节选	207
附录5 中华人民共和国电子签名法	208
附录6 电子认证服务管理办法	213
参考文献	219

第 1 章 现代系统理论的基本内容

1.1 引言——通向“系统”的浅显引导

1.1.1 由“运动”说起

“运动”在这里不是指体育领域的运动,即不是指人们所进行的体力、体能测试和训练,而是指广泛意义上物质存在的运动。人们不能追问“运动”为什么产生、产生的终极原因是什么?这是一种客观存在,如同物质之客观存在一样,人们只能在承认运动的客观存在的前提下去认识运动,即不断深入了解“运动”的各种表现形式,它们之间的转化规律以及各种“运动”规律等等,承认物质客观存在就应承认运动客观存在。现代科技发展前沿很大部分是更深入、更广泛地探索研究“运动”,在这里,探索“运动”的重点在于复杂的运动,人们已经按“运动”的各种本质特征分门别类地建立了运动的各种分类学科,如物理运动对应于物理学,就是通过物理量、物理参数和物理基本规律来研究物理运动的,如引力、力、动量、热参数、能量(它具有广泛意义,是物质运动的尺度)。物理运动包括宇观、宏观、介观、微观等多种尺度运动。化学运动主要是研究分子、原子、原子间的运动,它必然又关联到电子、原子核间结构布局的相互影响,与物理形成了交叉。实际上人们在分门别类地研究各种“运动”中,逐渐体会到种种运动存在着互相“交叉”融合的现象,如上述物理和化学量子学领域的运动就是一种“交叉”。对交叉作用需要“综合”,它表明人们关注的焦点正逐渐转向综合思维。中国文化的思维特点是重视综合思维,这是传统性的优点,各种复杂运动的研究是人类科学探索研究的永恒主题。研究复杂运动要依靠在分析基础上的综合研究,例如生命运动是多种复杂运动,它是综合性的;生物化学是生物规律在化学领域中的反映,细胞的生长发育,生命的生长发育生存等需要生物科学结合物理领域的研究,如“哥伦比亚号”航天飞机上中国中学生设计的命题,即在太空微重力环境下生物生存的综合问题。宇宙间最复杂的运动可认为是人的生命运动,人的身体组织及器官互相配合以支持人生命延续,也支持其自身生存,人全身数以万万亿个细胞的生存代谢,都与血液和体液系统相联系,进一步联系到人的思维及相关运动,则更是精细、复杂,甚至神奇。人的思维是极复杂的运动,它与其他重要功能相互融合,相互支持,如语言功能就是一种与思维功能密切相关的重要复杂功能,如儿童思维能力虽不完善但都具有基本语言能力。每一个词的发声由发声意识的产生到发声动作的完成,就是一个非常复杂的产生和控制过程,语言与思维密切关联,但发声过程并不由思维意识完全控制,是一种复杂运动。总之,人的存在是由非常



多种类的运动有机组成的。当维持人生命的各种运动一旦停止,则生命将终结;非但如此,一种重要运动停止也会牵连整体生命或者致残,如心脏停止运动则将生理死亡,脑运动停止,则是脑死亡,一旦生命运动停止,人就不存在了。紧接着是分解,将复杂的人体最后化成简单元素。由实际各种客观存在的例子,我们可以体会到:世界上除了运动之外没有别的什么东西。这种哲理具有普遍性和深刻性,运动即物质,它是客观存在的。

1.1.2 由运动说到“系统”

上面谈到的各种复杂“运动”,是在人类认识能力不断发展的过程中,必然要研究的对象,解开复杂运动之谜是认识发展中的重要目标。在漫长的认识发展道路上直至 20 世纪中叶以后,人类才领悟到复杂的运动有些共同的规律,是由多种联系相互作用相互影响而形成的有机的、有特点的统一运动,这种运动体称之为“系统”。形成这个概念是一个重要的突破,因它不同于西方惯常的分析思维,即“还原论”的思维方式,而是承认“综合”的重要性。对复杂运动的认识主要是要掌握其综合性,要在分析的基础上进行综合,认识其整体运动规律。所以我们认为“系统”是在研究复杂运动的过程中所形成的概念,是客观存在在人脑的一种反映,它是真实的,而不是凭空臆造出来的。这个概念一经提出,便引起了很多科学家及技术专家的浓厚兴趣,他们纷纷响应并从各方面进行了研究,试图掌握和应用。这种研究 20 世纪 40~50 年代至 60 年代形成高潮,在研究系统的普遍运动规律领域形成了系统理论,在实际应用领域形成了系统工程学科。系统工程包括了运筹学等学科分支,在很多领域,特别是用于复杂大型工程项目管理组织中都取得了可喜的成功。如二战中盟国运输船队采取有效的保护措施减小损失,完成重要运输任务;美国宇航局出色完成计划庞大复杂的阿波罗登月等。在我国,古代战国时田忌赛马的策略(孙臧之计)就是早期运筹学思想的出色应用,钱学森先生的研究结果和倡导的方法则是现代的杰出范例。在系统理论方面,作者认为普里高津教授的耗散自组织理论是一个重要突破,在系统理论发展方面具有战略意义和里程碑作用。同时也应看到,系统理论及应用学科的发展尚处在初期阶段,其学科领域体系结构远未达到完备的程度,对其基本规律的认识也还很不充分。系统科学与技术是密切相关到人类对复杂事物的综合认识,并取决于人类掌握的科学技术全领域的水平。人类对复杂性非线性科学、生命科学、思维和认知科学等领域之研究都处于初期阶段,在高潮兴起后,必然会碰到种种严重困难,而跌入低潮。我们应该认识到处于低潮状态不是消亡,而是科技专家处在理性思考和潜心研究阶段,也是进一步发展的前夕。因为系统科学技术是一个人类进化发展中必须解决的重要课题之一,是一种客观要求。本书不可能详细讨论系统科学问题,只能作一简单介绍,利用其为信息安全和对抗问题自顶层往下层进行研究打基础。



1.2 系统的定义及其要点解释

现在对系统的定义有几十种之多,学术界、科技界并没有统一的认识,本书给出一种定义。

1.2.1 系统的定义及要点说明

具有对外部功能,自组织机能,开放耗散结构,并由多元素组成的多层次、多剖面的复杂动态综合整体称为系统。

定义中要点说明如下

- 开放耗散结构:“结构”与外部,不断地有物质、能量、信息交换,并能耗散,由不可逆运动过程必然产生的熵使结构能保持有序运动的非隔绝保守结构称为开放耗散结构。
- 信息:事物运动状态的描述与表征。
- 自组织机能:是由内部结构间相互关系,以及内部结构与外部环境所形成的功能关系所组成,由无组织的混乱状态向有序状态演变及保持事物有序运动的机能。
- 序:在总体层次上所存在的运动规律。
- 系统简明含义是指具有以“系统”为特征的运动着的事物,具有内外相互约束、有机结合的功能,是一种客观存在的事物。

综上所述,“系统”是一类客观存在的事物,因其“结构”特性而形成了复杂的多层次和很大数量的相互交织关系(既有与外部的关系形成系统的功能,也有内部结构间的关系),正是这些交织的关系,形成了总体运动规律。随着事物的运动,这些规律也在变化,称为自组织机能。要强调的是,自组织机能并不是只有生命体才具有;生命体当然有自组织功能以维持生命的继续,但非生命体系统,也有自组织特性,它虽不如生命体那样神秘,但也很复杂。以下章节进行系统运动规律的讨论,并不是专对生命自组织功能的复杂运动规律进行讨论(现在尚未很好认识),而是对普适基础性自组织功能进行讨论。

1.2.2 “关系”的概念

前面提到了“关系”,这是一个重要核心概念,因为它反映了事物间的普遍联系、互相作用、互相影响,还可视为“运动”、运动状态、运动结果的具体表征,还可由关系叠套作用而形成复合关系,如亲戚之亲戚关系、朋友之朋友关系、合并关系、传递关系等等。有的复合关系中前后次序不可变化,并不存在普遍可变换关系次序的情况,例如舅父的儿子为表兄弟,儿子的舅父是舅兄弟而不是表兄弟,这是关系前后次序不能变更之例。

人们通常按一定特征将“关系”分为很多种类,如物理关系、化学关系、数学关系、人类社会



关系(如朋友关系、婚姻关系、血缘关系、法律关系、感情关系等),不同类别关系有不同的定义和特性,现简要分述如下。

一、数学上定义的一些重要关系

设 A 为集合, D 为二元集合[对,错],定义一个 $A \times A$ 表示集合中两个元素按某规则 R 形成的组合,并考察它们到 D 的映射,如果 $a, b \in A, aRb \rightarrow$ 对,则称为 A 的元素间的一个关系,也称 a, b 之间符合关系 $R(aRb)$; $aRb \rightarrow$ 错,则称 a, b 之间不符合关系 R 。

以上是“关系”由映射、概念来定义。数学中已知有非常多的关系,并还在不断寻求新的关系,数学定理在一定意义上就可看做是一种约束条件下的关系,现举几个例子说明。

数学中的等价关系是一个重要基础性“关系”:用 $\sim$ 表示,等价关系的性质有三条,即:

- ① $a \sim a$ 自反性;
- ② $a \sim b$, 则 $b \sim a$ 对称性;
- ③ $a \sim b, b \sim c$, 则 $a \sim c$ 传递性;

注意: c 为 $\neg a, \neg b(\neg a$ 表示非 $a)$, 否则将使 $a \sim a$ 失去独立性。

等价关系的重要性在于作为划分集合的准则,有以下定理:“集合 A 中划分子集必有一等价关系与之对应”,这是用自然语言表示的数学定理。证明这条数学定理要用数学方法,首先要转到数学的语言及数学证明的逻辑构架,再用已有的数学知识(定理等)进行证明。

定理:一个集合中,子集合的划分对应一等价关系。

设划分集合依照一准则,符合准则者进入子集合,设准则为 $\sim$, 设子集合中元素有 a, b, c 等,则有 $a \sim a, b \sim b, c \sim c$ (因为 a, b, c 已进入子集合,故符合准则),其中 a, b, c 都符合 $\sim$, 所以 $a \sim b, b \sim c, a \sim c, b \sim a, c \sim b, c \sim a$ 。

其中 $\sim$ 具有对称性、传递性、自反性,故 $\sim$ 为一等价关系。

定理:一等价关系可划分一子集合。

设集合为 A , 等价关系为 $\sim$, 根据自反性可由 A 中任意挑出满足 $a \sim a$ 的 a , 由 a 按 $a \sim b, \dots$ 挑出 $b, c, \dots$ 即可构成子集。

由于 $a \sim b, b \sim a$, 先挑出 a 或先挑出 b 无区别,推广至任意挑选无区别。(步骤 2)

由于 $a \sim b, b \sim c$, 则 $a \sim c$, 说明使用 $\sim$ 挑选元素无其他限制(如 $a \sim b, b \sim c, c \sim d, \dots$ 串行链)。(步骤 3)

由步骤 2 及 3 证明了定理的完备性,即划分子集合用等价关系即可完成,不需要其他条件。

以上两定理的证明没有用其他数学定理加以支持证明,这种证明是最简单的。它表明了集合与等价关系间的关系。

数学中的相似关系:在等价关系中削去传递性,即消去一种约束,形成了较等价关系弱的相似关系,“相似”一般不存在传递性。儿子像父亲,儿子像母亲,但父母不见得相像。数学中



这种种运算也可看做“关系”，而运算更广泛的认识可认为是一种映射，故映射又可看做关系（数学中“关系”定义由映射开始的原因就在于此），“集合”可看做关系的集合。同构类关系是一种复合关系（集合映射和运算的结合）。

设 a, b, c 和 a', b', c' 分别为两个集合 A 及 A' 中的元素， $\cdot$ 和 $\bar{\cdot}$ 分别为两个集合中各自定义的一种运算， Φ 为自集合 A 至集合 A' 的映射，即 $a \xrightarrow{\Phi} a', b \xrightarrow{\Phi} b'$ 。（ Φ 为——映射）。如果 $\Phi(a \cdot b) = \Phi(a) \cdot \Phi(b)$ ，则称 A 集合与 A' 集合在映射 Φ 及运算 $\cdot$ 与 $\bar{\cdot}$ 下构成同构关系。同构关系是一个重要关系，在科学技术领域广泛应用，它是“相等”关系的推广，即广义的相等关系（在运算 $\cdot$ 及 $\bar{\cdot}$ 、映射 Φ 的意义上），也是一种条件严格的关系。此外还有条件较宽松的同态关系等。

二、关系在系统理论中的定义

系统理论中定义的“关系”含义比较广泛，体现事物间广泛复杂的联系。“关系”表征：

- 事物间各种相互作用称为存在某种关系；
- 事物间各种相互作用结果以状态表示（也称存在某种状态关系）；
- 事物间的时空比较状态；
- 事物由某种存在状态在一些作用激发下形成的状态转移。

三、系统理论中涉及的几类重要关系

• 功能关系：专指系统与“环境”发生的主要相互作用，它使系统得以生存，实际上“功能”是由系统内部多种交织“关系”中一组与外部环境发生某种重要关系者，称为功能关系，功能关系的主要内容是“功能”。

• 结构关系：系统内部各部分之间相互作用称为结构关系，其中主要内容构成结构。“结构”按层次组成划分为分系统、子系统、子子系统结构，上一层次的结构关系在下一层次可能成为跨两个子系统之间所形成的功能关系。“功能”和“结构”的划分要依据观察基点而定，这些相互间的关系，形成了系统结构的动态存在，同时也形成了系统层次的“功能”。可以认为系统的“结构”与“功能”，即哲学上称之为事物的内因，它的核心实质是动态的相互作用及其动态关系可以表征系统的生存。

• 约束关系：“功能”、“结构”的实现和存在是有条件的，实现“功能”、“结构”的前提条件、限制条件，以及所需的支持条件称为约束关系。约束关系根源于人理、物理、事理、生理对事物的约束，最严格和不容逾越的是法律体系所规定的约束界限。深层次的约束关系是以规律的形式出现，也可以是技术状态水平之限制。约束关系的约束作用是体现在对象间的时空运动中，约束作用的表现形式多种多样，例如可以是时间维上的连续作用，也可以是不连续的阶段性作用；又如法律的约束作用也区分为违法和犯法，有着不同程度的惩罚。约束关系具有体系



特征,如构成“约束”的约束,不同层次、不同剖面、不同时间有不同的约束条件,它们的集成构成约束体系。约束关系是关系的一种,是事物互相作用中对某种作用起约束作用的“关系”。

四、“关系”的概念形成及“关系”作为一个概念由其内涵与外延角度划分“关系”间的关系

关系的深化及概念的形成:概念是人对事物深化认识所形成的本质概括,人们往往利用概念和形成概念的思维模式进行新的认识,深化认识各种关系同样得到概念(称为关系概念),利用关系概念研究复杂关系集群组成以及“关系”间关系都很有利,后面将利用概念的内涵与外延研究“关系”间关系。

- 种属关系:一个“关系”的外延被另一个关系的外延全部包括,成为其中一部分,外延大者称为种关系,小者称为属关系,“属关系”内涵多,除“种属关系”所涉内涵外,尚有独立所有者。
- 并列关系:在一个种关系下,平行的两个或多个属关系,其外延互相排斥者(不能兼者)。
- 交叉关系:“关系”的内涵与外延,部分不同,部分相同者。
- 同一关系:两个关系外延完全相同,但内涵不同或不完全相同者(体现事物多剖面特性)。
- 对立关系:是一种特殊形式,即并列关系中其外延相互对立,处在两端位置的属概念。
- 矛盾关系:是一种特殊并列关系及对立关系,两个属关系外延的和等于种关系的外延。
- 由系统之功能关系、结构关系及约束关系的关系概念分析,系统同时可具有以上关系。

五、“关系”的维系间对象的关系

设对象为 X 、 Y 、 Z ,则产生如下维系关系:

- 相似关系: X 与 Y 相似。
- 时空比较关系: X 比 Y 大, X 比 Y 前、后, X 比 Y 早、晚……以及时空关系组合。
- 占有关系: X 中有 Y , X 控制 Y 。
- “是”关系: X 是 Y ……
- 继承关系: X 某属性遗传给 Y , Y 继承 X 的某属性。
- 因果关系: X 是因, Y 是果,由 X 产生 Y 。
- 矛盾关系: X 与 Y 为矛盾关系。

此外还有成员关系、部分关系、组成关系、类关系等。

六、“关系”的时空展开和“关系”的变换

时间、空间是物质存在的基本形式,事物的存在必然在时间、空间域展开,事物的运动可用一系列关系表示,因此“关系”在时空域必定展开,“关系”的时空展开有多种样式,可单独考虑



在时空域分别展开。全面表示事物运动,则应以“关系”在时空域联合展开较为确切。以连续状态表征运动,则常以 $\frac{\partial}{\partial t}, \frac{\partial^2}{\partial t^2}, \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial^2}{\partial x^2}, \nabla, \nabla^2$ 等原“关系”在时空动态展开,而在离散状态下则对应以差分方程及离散序列组表示。

在众多关系中,变换关系是一种重要关系,它是将事物性质变换至另外剖面进行表征,如将“性质”看做一种“关系”(即以关系表征性质),则变换关系也是“关系”变换,例如傅里叶变换是将信号在时间域的关系转换至频率域的关系,变换关系的内容还可以是关系集合(不仅是单一关系间变换)间的变换。例如,人工系统设计选择不同方案时,不同方案组成的集合可认为是由“功能”保持不变,“约束”经变换而形成各自不同的集合所组成,因此常概括地说设计实质是利用变换所形成的变换结果。

“关系”是一个重要而灵活的概念,利用各种“关系”研究事物运动、研究系统非常重要。

1.3 系统理论体系初论

1.3.1 哲学——系统理论体系中的基础层次理论

唯物辩证哲学是最基础和普遍的研究事物运动的学问,尤其是矛盾对立统一律,量变质变和否定之否定被认做唯物辩证哲学的核心理论。矛盾对立统一律可看做是辩证哲学公理(以后将加以详细讨论),它支持了唯物哲学的发展(在发展具体内容时往往与相关领域的专门学问相结合,同时体现了辩证哲学的普遍性),以下举两个例子说明唯物辩证哲学的科学性和发展性。

例如,经典的唯物辩证理论中论及时间和空间的概念时指出了它是物质存在的基本形式,这是最基本的和普适性的论述,但并没说明时间和空间之间的关系,在牛顿力学体系中也没有论及,发展到狭义相对论才在惯性系中,科学地并美妙地用数学表达了空间和时间的相关性,这是对经典的唯物辩证理论中时间、空间概念之重要发展和补充。

常用思维模式如图 1.1(a)所示。认为是 A 不是 B,是 B 不是 A(形式逻辑模式);但辩证思维则认为在一定条件下 A、B 可以互相转化,如图 1.1(b)所示, A 不是 B,但 A 又是 B,辩证思维模式是可普遍应用的。因事物是复杂多层次的、又是动态发展之辩证过程,如 A 代表“对手”, B 代表“朋友”的场合,按绝对化的思维模式,则有,是 A 不是 B,是 B 不是 A,是一种绝对“划分”。即,不是朋友就是对手,不是“对手”就是“朋友”,这种概念实际上常常是行不通的。

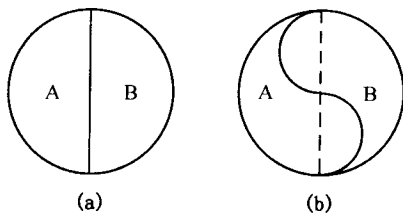


图 1.1 两种不同的思维模式示意图